

s.a. TCDA Stembert  
av. J. Lambert, 119  
4801 STEMBERT

Tél : 087-22.06.86  
Fax : 087-22.44.53

## Ets SCHREIBER - Hall à parois verticales sur charpente en aluminium de 15 m de portée entre appuis et de 5.50 m de hauteur au faite

### ETUDE DE LA STABILITE DU PRODUIT

#### § 1 - Description

La charpente du hall est constituée de portiques réalisés par éléments modulés en tubes rectangulaires d'aluminium (profilés à gorges), entredistants de 5.00 m et reliés entre eux par des tubes circulaires d'aluminium en superstructure. En outre, des tubes circulaires identiques sont disposés entre les portiques comme soutiens supplémentaires de la toile. Les pieds de colonnes sont reliés par des tubes rectangulaires en acier. Des contreventements existent dans la toiture et dans les parois à raison d'une pièce par 15 m ; ils sont réalisés par des câbles d'acier tendus en diagonale. La liaison des profils entre eux est faite par emboîtement dans des angles réalisés par des tubes d'acier soudés. Enfin, les pièces sont maintenues en place par la toile qui les empêche de se séparer. (voir annexe 1)

L'ensemble est recouvert de toile ignifuge de type M2 pour la description plus complète de laquelle nous renvoyons à la plaquette de la firme.

La perspective reprise figure 1 montre bien la configuration générale de l'ensemble.

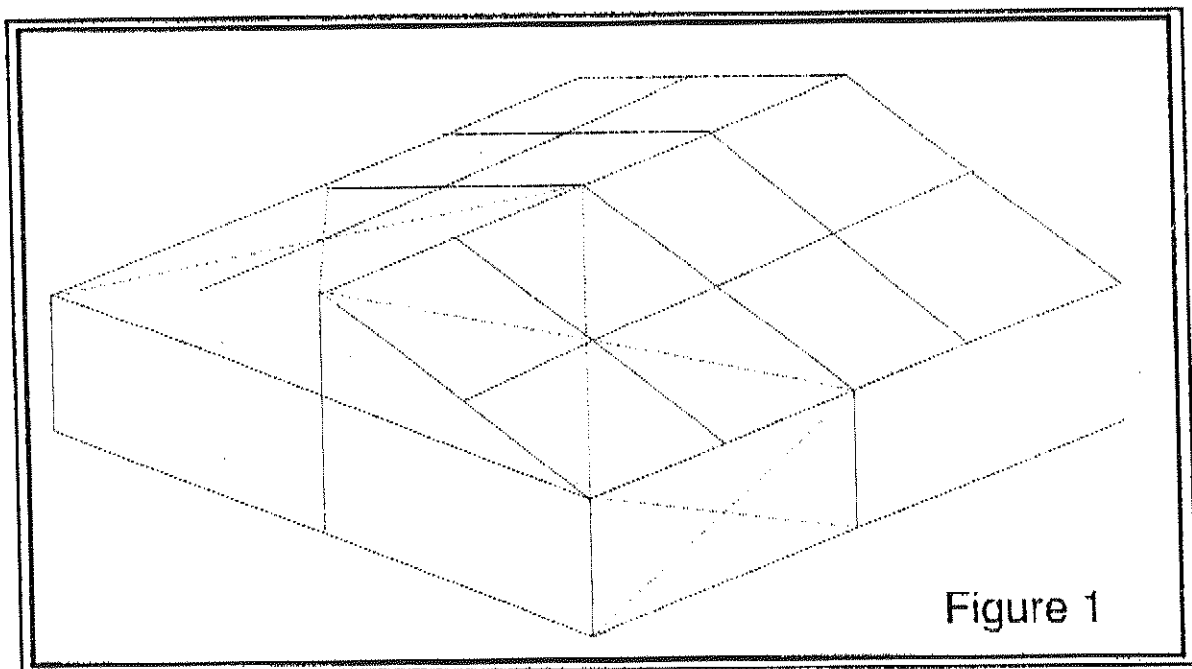


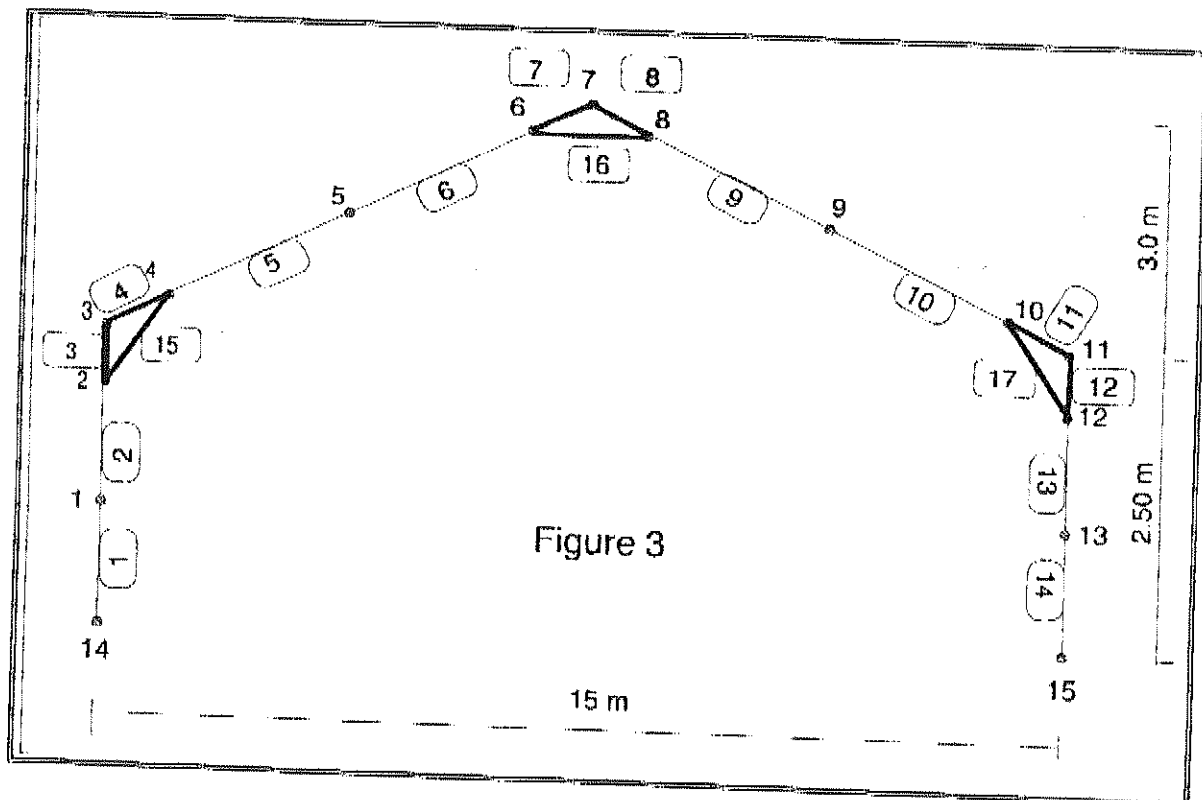
Figure 1

Pour le calcul au vent, les parois ne peuvent pas être considérées comme étanches (vent par dessous) ; en outre des ouvertures complètes peuvent exister dans toutes les parois, qu'elles soient longitudinales ou de pignon.

## § 2 - Calcul des éléments suivant les normes NBN

### 2.1.- Présentation du logiciel

Le portique a été schématisé pour le calcul comme représenté à la figure 3 ci-dessous. Ce schéma sera valable pour le calcul sous les charges tant verticales qu'horizontales.



Le portique est subdivisé en nœuds et en barres (la numérotation de ces dernières est faite dans les rectangles arrondis) et les barres peuvent être soit continues (ou encastrees), soit rotulées (ou libres).

Le logiciel utilisé calcule en chaque nœud et pour chaque barre les effets "déplacements" (déformations horizontales et verticales, rotation) et les effets "solllicitations" (efforts axiaux et tangentiels, moment de flexion). Les charges peuvent être appliquées sur nœuds et/ou sur barres.

Le calcul proposé par le logiciel est évidemment limité parce que théorique et les résultats pratiques doivent en être déduits. Par exemple, le calcul ne tient pas compte d'une déformation préalable de la structure (par suite de la "mise en place" des pièces d'assemblage) et il est certain que supposer des rotules à chaque nœud ne conduit qu'à une structure hypostatique, c'est-à-dire non résistante. Il est certain également que supposer - comme nous devons bien le faire - une continuité complète entre chaque barre, ainsi que des encastremets aux appuis, ne

nous permet pas d'appréhender les grandes déformations qui ont lieu au montage, ni de connaître exactement les contraintes dans les éléments qui s'installent lors de ce montage.

Cela n'est pas d'une très grande importance. En effet, en ce qui concerne les déformations, celles qui importent à l'utilisateur sont celles qui se produisent pendant l'utilisation, à partir d'un état déjà déformé. Nous pouvons donc, sans risque, négliger le calcul et même l'estimation de ces déformations préalables.

Les contraintes sont moins négligeables ; en effet, les contraintes qui se produiront lors des différentes mises en charge, devront être combinées à celles existant déjà après montage et la contrainte totale en chaque point devra être limitée à la contrainte admissible. Nous sommes cependant persuadés de ne pas faire une grande erreur en supposant que ces contraintes originelles sont très proches, si pas égales, de celles qui se produisent sous le seul poids propre.

En nous rappelant le principe "action = réaction", nous pouvons supposer qu'aucune réaction (sauf celle infime de frottement) n'existe dans les rotules d'assemblage tant qu'il n'y a pas blocage de la rotule; à ce moment seulement, la réaction se manifeste et les contraintes existent. C'est aussi le moment où le poids propre est repris suivant les principes de la statique.

L'action préalable est avant tout une action dynamique puisqu'il y a mouvement important sans réaction autre que les réactions habituelles de la dynamique (frottement dynamique). L'étude de cet état préalable n'aurait d'ailleurs d'importance que dans le cas utopique où l'ensemble se déformerait brutalement d'un état initial à un état final parce qu'alors, la quantité de mouvement emmagasinée lors du déplacement engendrerait, lors du blocage brutal, des contraintes qui ne seraient plus négligeables et qui pourraient même entraîner des ruptures locales. C'est loin d'être le cas, puisque la succession des opérations de montage permet à chaque pièce de prendre lentement sa place. Nous allons donc supposer que les contraintes dues au poids propre sont les seules existant au départ : s'il persiste une crainte de contraintes parasites, il suffit d'en tenir compte dans le choix du coefficient de sécurité.

## 2.2.- Coefficients de pression du vent

Les coefficients de pression sont tirés de la norme NBN B 03-002-1. (voir annexe 2)

## 2.3.- Détermination des charges

Nous distinguons 4 cas de charges :

### 1 - Charges dues au poids mort (cas de charges n° 1) :

|                     |  |
|---------------------|--|
| profilés à gorges : | 5.128 kg/m à répartir suivant longueur des barres            |
| tubes de liaison :  | 1.9 kg/m x 5 m = 9.5 kg par noeud                            |
| toile :             | 0.65 kg/m <sup>2</sup> à répartir sur les différentes barres |

### 2.- Charges dues à la neige (cas de charges n° 2) :

L'utilisateur nous a demandé de tenir compte d'une charge maximum de 25 kg/m<sup>2</sup> de neige. Nous aurons donc 25 kg/m<sup>2</sup> répartis sur un plan horizontal de 5 m x 15 m et nous distribuons cette charge uniformément sur les barres du portique.

3.- Charges dues au vent (cas de charges 3 et 4) :

Ici encore, l'utilisateur nous a demandé de limiter la vitesse du vent à 100 km/h, ce qui correspond à une pression d'environ 50 kg/m<sup>2</sup>. Nous aurons dès lors : 50 kg/m<sup>2</sup> x 5 m = 250 kg/m selon l'entrecroisement des noeuds, à multiplier par les différents coefficients de pression de la figure 5 pour obtenir les charges à appliquer dans les cas n° 3 et 4.

2.4. - Détermination des combinaisons

- Le calcul comporte 7 combinaisons des cas de charges.
- Les 4 premières combinaisons correspondent aux cas de charges 1 à 4 seuls.
- La combinaison n° 5 est celle des cas de charges 1 et 2 (Poids propre + neige)
- La combinaison n° 6 est celle des cas de charges 1 et 3 (Poids propre + vent avec Cpi = + 0.3)
- La combinaison n° 7 est celle des cas de charges 1 et 4 (Poids propre + vent avec Cpi = - 0.3)

§ 3.- Vérification du portique (non haubanné)

Le calcul est fait par le logiciel décrit plus haut, dans la seule hypothèse de pieds rotulés et sera communiqué à l'utilisateur intéressé avec l'accord des établissements SCHREIBER. Ce calcul n'est pas repris dans la présente note pour ne pas l'alourdir. (voir annexe 3)

§ 4.- Conclusions du calcul du portique

Charge de neige (Combinaison n° 5)

Dans le cas de l'aluminium seul, la tension résultante est supérieure à la tension limite admise par la norme, ce qui démontre bien la nécessité de prévoir des renforts d'acier grâce auxquels cette tension résultante devient bien inférieure à la tension limite.

En admettant que la variation des tensions se fait plus ou moins linéairement entre l'appui et le noeud d'angle, nous pouvons dès lors déterminer à quel endroit le renfort d'acier n'est plus nécessaire et calculer ainsi sa longueur.

Les déformations moyennes au centre du portique sont de 5.88 cm ce qui signifie un ordre de grandeur de L/255 ; cette valeur est évidemment plus élevée que L/300 demandée pour les charpentes métalliques classiques, mais elle nous semble admissible pour une structure telle que celle-ci. En effet, elle ne devrait pas gêner l'utilisateur et elle n'apporte pas à la structure des dégradations ou des déformations permanentes.

Charges de vent (Combinaison n° 7)

Ici encore, dans le cas de l'aluminium seul, la tension résultante est supérieure à la tension limite majorée admise par la norme dans ce cas, ce qui démontre une fois de plus la nécessité de prévoir les renforts d'acier grâce auxquels cette tension résultante devient du même ordre de grandeur que la tension limite et donc acceptable.

En admettant ici encore que la variation des tensions se fait plus ou moins linéairement entre l'appui et le noeud d'angle, nous pouvons dès lors déterminer à quel endroit le renfort d'acier n'est plus nécessaire et calculer ainsi sa longueur.

## Conclusions

La structure définie de cette façon satisfait aux conditions imposées par l'utilisateur sans renforcement par haubannage.

L'entrait situé au faite doit être renforcé également par un élément tubulaire en acier, mais sans prolongation de longueur significative au delà des points d'attache.

Il reste encore à faire la vérification des pièces particulières telles que traverses et contreventements.

## **§ 5.- Pièces particulières**

### 5.1.- Traverses

Les traverses reliant les portiques sont constituées de tubes circulaires de 5.00 de portée maximum et leurs charges sont celles définies plus haut.

Le calcul de ces traverses est simple et n'offre pas de particularités et les tensions qui en découlent sont tout à fait compatibles avec la nature du matériau et montrent qu'aucun problème n'est à craindre de ce côté.

### 5.2.- Contreventements

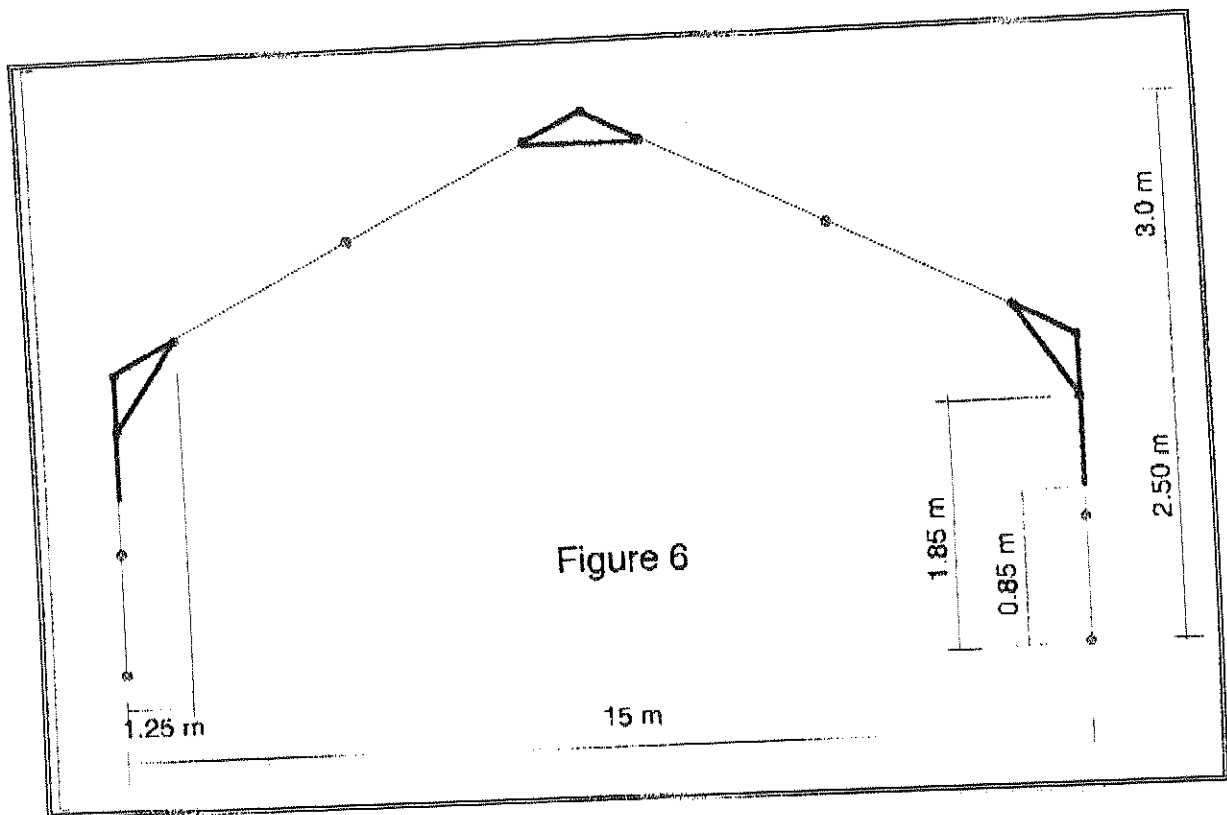
Le câble le plus sollicité du contreventement sera celui reliant un pied de colonne au noeud formé par la première traverse horizontale ; en effet, les rectangles de 2.50 m x 5.00 doivent empêcher le basculement de l'ensemble des portiques sous l'effet du vent longitudinal.

L'estimation de l'effort horizontal au niveau de la traverse supérieure de ce rectangle est faite de manière défavorable en appliquant sur la surface du pignon la charge maximum de vent et le calcul montre que la sécurité vis-à-vis de la rupture est supérieure à 1.5

Les câbles formant contreventements sont donc suffisants.

### 5.3.- Bracon type barre n° 15 ou entrait type barre n° 16

Le calcul théorique montre que l'aluminium seul pourrait suffir, mais les liaisons sont cependant réalisées en acier car les noeuds de jonction entre pièces différentes sont les endroits où des phénomènes de fatigue seraient les plus à craindre.



### § 6 - Conclusion générale

Nous proposons d'utiliser la structure décrite en 15 m de portée selon les dispositions reprises à la figure 6 ci-avant, c'est-à-dire :

- 1) avec les tubes en aluminium prédéfinis (profilés à gorges)
- 2) renforcés par des tubes en acier selon les cotes indiquées

Les seuls tubes en acier qui doivent être continus sont ceux des poteaux ; les autres renforts existant aux liaisons entre bracons et poteaux ou entre entrait et membrures, peuvent n'être que des morceaux destinés à renforcer l'endroit de l'attache.

Verviers, le 4 décembre 1997

**ing. Robert LESAGE**  
Administrateur-Délégué

Annexes :  
 Considérations sur les déformations dues au vent  
 Considérations sur le phénomène de fatigue  
 Listing : Calcul d'un portique à pieds rotulés

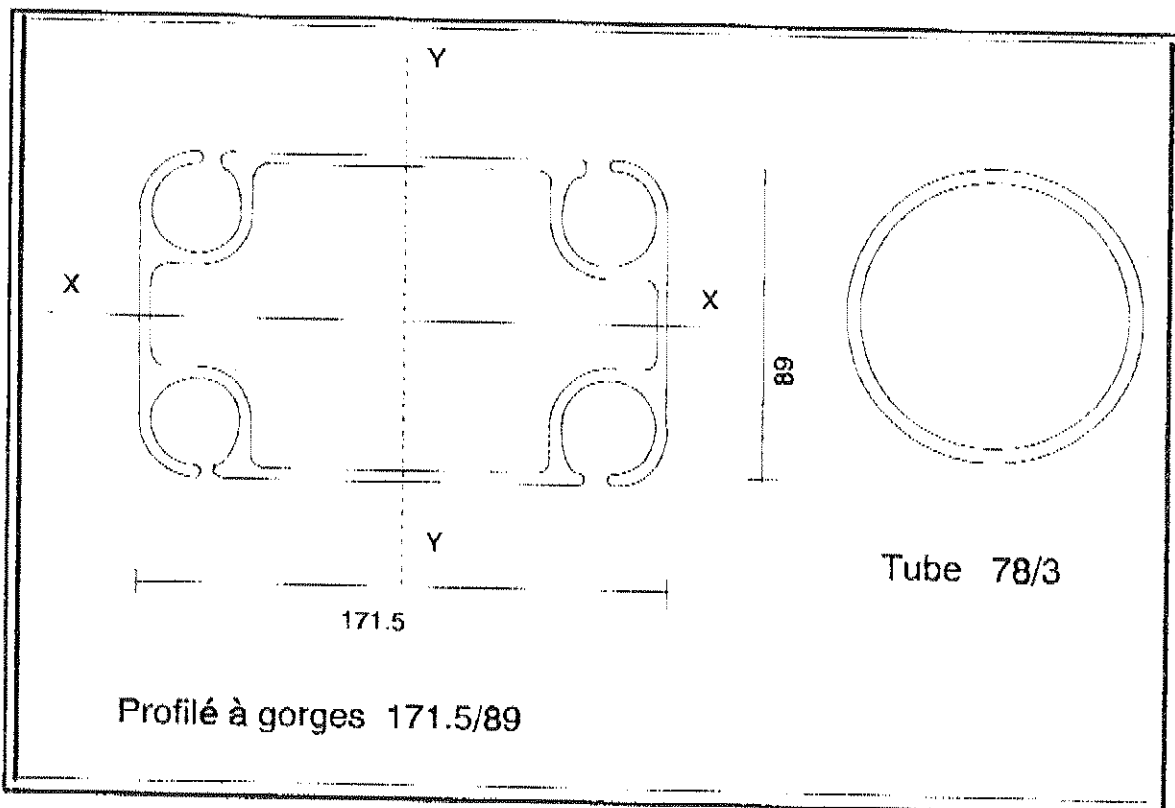
**ANNEXE 1****Dimensions et caractéristiques des éléments**

L'aluminium répond aux caractéristiques suivantes (selon les normes AFNOR A50-411 & A50-451) :

|                            |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|
| Composition :              | Al Mg 1 Si Cu F26               |
| Densité :                  | 2.700 kg/m <sup>3</sup>         |
| Module d'élasticité :      | 690.000 kg/cm <sup>2</sup>      |
| Résistance à la rupture :  | 260 MPa (ou N/mm <sup>2</sup> ) |
| Limite élastique à 0.2 % : | 240 MPa (ou N/mm <sup>2</sup> ) |

Le profilé à gorges 171.5/89 et le tube  $\Phi$  78/3 en aluminium (voir figure 2 ci-après) répondent aux caractéristiques suivantes :

|                                    | Profilé à gorges 171.5/89 | Tube $\Phi$ 78 / 3 |                 |
|------------------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------|
| Section :                          | 19                        | 7.068              | cm <sup>2</sup> |
| Inertie axe Y (I <sub>y</sub> )    | 777.2                     | 199.1              | cm <sup>4</sup> |
| Module Y (I/v) <sub>y</sub>        | 90.63                     | 51.06              | cm <sup>3</sup> |
| Inertie axe X (I <sub>x</sub> )    | 236.2                     |                    | cm <sup>4</sup> |
| Module X (I/v) <sub>x</sub>        | 53.08                     |                    | cm <sup>3</sup> |
| Rayon giration Y (i <sub>y</sub> ) | 6.40                      | 5.307              | cm              |
| Rayon giration X (i <sub>x</sub> ) | 3.53                      |                    | cm              |
| Poids :                            | 5.128                     | 1.908              | kg/m            |







### ANNEXE 3

#### Vérification du portique (non haubanné)

##### 1.- Calcul

Le calcul est fait par le logiciel décrit plus haut, dans la seule hypothèse de pieds rotulés

Avant cela, cependant, nous allons déterminer quelles sont les sollicitations maximales que peut supporter l'alliage utilisé.

D'après la norme NBN 1-50, la tension admissible en traction pure R est égale à la plus petite des deux valeurs ( $k_1 = 2.3, 2$  ou  $1.5$  et  $k_2 = 1.7, 1.5$  ou  $1$  pour les cas I, II ou III) :

$$\begin{array}{ll} R_m/k_1 & = 260/k_1 & \text{avec } R_m = \text{résistance à la rupture} \\ R_{a(0.2)}/k_2 & = 240/k_2 & \text{avec } R_{a(0.2)} = \text{limite élastique à } 0.2\% \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Nous aurons donc : } R = 113 \text{ N/mm}^2 \text{ ou } R = 1130 \text{ kg/cm}^2 & \text{cas I de la norme} \\ R = 130 \text{ N/mm}^2 \text{ ou } R = 1300 \text{ kg/cm}^2 & \text{cas II de la norme} \\ R = 173 \text{ N/mm}^2 \text{ ou } R = 1733 \text{ kg/cm}^2 & \text{cas III de la norme} \end{array}$$

La tension maximale à un endroit donné d'un profil sera fonction de l'effort axial, du moment de flexion et de l'effort tranchant existant à cet endroit.

$$\begin{array}{ll} \text{En appelant : } & \sigma_N & : \text{ la tension due à l'effort normal} \\ & \sigma_M & : \text{ la tension due au moment de flexion} \\ & \tau & : \text{ celle due à l'effort tranchant,} & \text{et,} \\ & \sigma & : \sigma_N + \sigma_M \end{array}$$

$$\text{on peut écrire :} \quad \sigma_e^2 = \sigma^2 + 3 \times \tau^2$$

La tension  $\sigma_N$  devrait se calculer en tenant compte d'un coefficient de flambage dans le petit sens d'inertie ; cependant, la toile enfilée dans les gorges des profils empêche ces derniers de flamber dans le plan de la toile. Nous calculerons donc le flambage en tenant compte du sens de l'inertie maximale et en admettant que l'alliage utilisé fasse partie du groupe III de la norme.

Le calcul de la tension  $\sigma_M$  dépend de la face sur laquelle s'exerce la compression ; si cette face est celle du côté des gorges utilisées, il n'y a pas de déversement à craindre et la tension est simplement le quotient du moment équivalent par le module de flexion maximum. Dans le cas contraire, il peut y avoir un risque de déversement et le calcul de la contrainte en tient compte ; dès lors, toutes les sections dans lesquelles un moment négatif (voir conventions de signe plus loin) se manifeste devront être calculées en tenant compte du déversement.

Aux angles du portique, une difficulté supplémentaire se présente lorsqu'on tient compte de l'emboîtement des profilés en aluminium et en acier ; nous admettons comme hypothèse que le profil d'acier ( $E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$ ) est trois fois plus raide que le profil en aluminium (pour lequel  $E = 690000 \text{ kg/cm}^2$ ).

Les tensions  $\sigma$  et  $\tau$  seront calculées par :

$$\sigma = \frac{N}{\phi \cdot S} + \frac{M_{eq}}{k \cdot I/v \cdot (1 - 2,6 \cdot N/P_E)}$$

avec  $M_{eq} = 0,85 M$  et  $(1 - 2,6 N/P_E) = +0,95$  dans la majorité des cas

D'autre part, le cisaillement  $\tau$  se calcule par :

$$\tau = \frac{3 \times T}{2 \times e \times h \times 2} \quad \text{avec } \begin{array}{l} T = \text{effort tranchant} \\ e = \text{épaisseur âmes} \\ h = \text{hauteur profil} \end{array}$$

Les coefficients  $\phi_{fl}$  et  $\phi_{ed}$  se calculent de la manière suivante avec le profil tubulaire 171,5/89 :

Elancement : de la manière classique avec :  $\lambda_{fl} = 0,8 \times L/i_x$

et, en admettant que l'alliage utilisé fasse partie du groupe III de la norme, les tableaux en annexe de cette norme nous donnent la valeur de  $\phi_{fl}$  pour  $R_{0,2} = 240 \text{ N/mm}^2 = 24 \text{ kg/mm}^2$ .

Le coefficient  $\phi_{ed}$  réducteur du module de flexion (colonne avec moment négatif) se calcule, quant à lui, de la manière suivante :

$$K = \frac{2 \cdot b^2 \cdot h^2}{b/e + h/a} \quad \text{avec } \begin{array}{ll} b = \text{largeur du profil} & = 8,9 \text{ cm} \\ e = a & = 0,3 \text{ cm} \\ h = \text{hauteur du profil} & = 17,15 \text{ cm} \end{array}$$

$$K = 2293$$

On en tire la valeur de :

$$\lambda_{ed} = \sqrt{\frac{5,1 \cdot L \cdot (I/v)_y}{\sqrt{K} \cdot I_x}} \quad \text{et, dès lors, celle de } \phi_{ed} \text{ dans le même tableau.}$$

## 2.- Interprétation des résultats

### Note préliminaire :

La différence éventuelle des signes entre le listing repris en annexe et ceux figurant dans les tableaux ci-dessous provient de la notation spécifique du logiciel. Pour ne pas entrer dans des explications trop longues, nous avons effectué la "traduction" et repris la notation habituelle, à savoir :

|                       |   |
|-----------------------|---|
| moment positif        | = moment tendant les fibres intérieures |
| moment négatif        | = moment tendant les fibres extérieures |
| effort normal positif | = traction                              |
| effort normal négatif | = compression                           |

N.B. : Le signe de l'effort tranchant n'a pas d'importance

## 2.1.- Noeud d'angle le plus sollicité

En reprenant du listing les résultats des sollicitations des noeuds 2 ou 12 dans les différentes combinaisons, nous trouvons :

|                                  | Cas 1    | Cas 2     | Cas 3     | Cas 4     | Cmb 5     | Cmb 6     | Cmb 7     |
|----------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Mo. de flexion (kgm)             | - 79.93  | - 1063.00 | + 1051.00 | + 2108.00 | - 1143.00 | + 970.80  | + 2028.00 |
| Effort tranchant (kg)            | + 123.0  | + 1635.00 | - 1527.00 | - 3202.00 | + 1758.00 | - 1404.00 | - 3079.00 |
| Effort normal (kg)               | - 70.40  | - 1096.00 | + 1103.00 | + 2172.00 | - 1166.00 | + 1032.60 | + 2101.60 |
| Noeud 7<br>Flèche verticale (cm) | - 0.4962 | - 5.383   | + 3.165   | + 8.176   | - 5.880   | + 2.669   | + 7.680   |
| Noeud 3<br>Flèche horizont. (cm) | 0.196    | 2.117     | 4.514     | 6.469     | 2.313     | 4.318     | 6.273     |

En appliquant les formules de la page 7, nous avons avec  $L = 250$  cm

$$\lambda_{fl} = 0.8 \times 250/3.53 = 56.7 \quad \text{et} \quad \lambda_{cd} = 12.53 < 17$$

$$\text{d'où nous tirons } \phi_{fl} = 0.558 \quad \text{et} \quad \phi_{ed} = 0.991$$

Il est logique d'utiliser, comme nous l'avons fait, les caractéristiques de l'aluminium seul pour définir les coefficients de réduction au flambage ; par contre, il faut tenir compte du renfort tubulaire en acier pour définir la tension dans l'aluminium. Nous aurons les caractéristiques reprises à la page 2 pour l'aluminium seul, mais nous aurons, par la prise en compte d'un tube  $120 \times 80 \times 3$  en acier, les caractéristiques suivantes pour la combinaison alu + acier :

$$S = 19 + 11 = 30 \quad \text{cm}^2$$

$$I/v = 1470/8.57 = 171.4 \quad \text{cm}^3$$

Nous avons dès lors :

Combinaison n° 5 (Poids propre + Neige : cas 1 + cas 2)

$$M_{\max} = - 1143 \text{ kgm} \quad T_{\max} = 1758 \text{ kg} \quad N_{\max} = - 1166 \text{ kg}$$

Les tensions valent :

Pour l'aluminium seul :

$$\sigma_{\max} = \frac{1166}{0.558 \times 19} + \frac{0.85 \times 114300}{0.991 \times 90.63 \times 0.95} = 1248.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{1758 \times 3}{2 \times 2 \times 0.3 \times 17.15} = 256.3 \text{ kg/cm}^2$$

La tension principale vaut alors  $\sigma_c = \sqrt{1248.6^2 + 3 \times 256.3^2} = 1325 \text{ kg/cm}^2$

Pour l'ensemble aluminium + acier :

$$\sigma_{\max} = \frac{1166}{0.558 \times 30} + \frac{0.85 \times 114300}{0.991 \times 171.4 \times 0.95} = 671.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{1758 \times 3}{2 \times 2 \times 0.3 \times (17.15 + 12)} = 150.8 \text{ kg/cm}^2$$

La tension principale vaut alors  $\sigma_c = \sqrt{671.7^2 + 3 \times 150.8^2} = 721 \text{ kg/cm}^2$

Combinaison n° 7 (Poids propre + Vent : cas 1 + cas 4)

$$M_{\max} = + 2028 \text{ kgm}$$

$$T_{\max} = 3079 \text{ kg}$$

$$N_{\max} = + 2101.6 \text{ kg}$$

Les tensions valent :

Pour l'aluminium seul :

$$\sigma_{\max} = \frac{2102}{19} + \frac{202800}{90.63} = 2348.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{3079 \times 3}{2 \times 2 \times 0.3 \times 17.15} = 448.8 \text{ kg/cm}^2$$

La tension principale vaut alors  $\sigma_c = \sqrt{2348.3^2 + 3 \times 448.8^2} = 2474 \text{ kg/cm}^2$

Pour l'ensemble aluminium + acier :

$$\sigma_{\max} = \frac{2102}{30} + \frac{202800}{171.4} = 1253.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{3079 \times 3}{2 \times 2 \times 0.3 \times (17.15 + 12)} = 264 \text{ kg/cm}^2$$

La tension principale vaut alors  $\sigma_c = \sqrt{1253.3^2 + 3 \times 264^2} = 1334 \text{ kg/cm}^2$

## 2.2.- Noeud de pied de colonne

En reprenant du listing les résultats des sollicitations des appuis dans les différentes combinaisons, nous trouvons ( $M_{flexion} = 0$ , puisque rotule) :

|                       | Cas 1   | Cas 2   | Cas 3   | Cas 4    | Cmb 5    | Cmb 6   | Cmb 7    |
|-----------------------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|----------|
| Effort tranchant (kg) | 43.2    | 574.5   | 822.3   | 1255.0   | 617.7    | 779.1   | 1212.0   |
| Effort normal (kg)    | - 102.5 | - 937.5 | + 590.7 | + 1716.0 | - 1040.0 | + 488.2 | + 1612.5 |

Les tensions dans ce cas se calculent sans tenir compte des coefficients de flambage et nous avons :

Combinaison n° 5 (Poids propre + Neige : cas 1 + cas 2)

$$T_{max} = 617.7 \text{ kg} \quad N_{max} = - 1040 \text{ kg}$$

Les tensions valent pour l'aluminium seul :

$$\sigma_{max} = \frac{617.7}{19} = 32.5 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{et} \quad \tau_{max} = \frac{1040 \times 3}{2 \times 2 \times 0.3 \times 17.15} = 151.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{La tension principale vaut alors } \sigma_c = \sqrt{32.5^2 + 3 \times 151.6^2} = 264.6 \text{ kg/cm}^2$$

Combinaison n° 7 (Poids propre + Vent : cas 1 + cas 4)

$$T_{max} = 1212 \text{ kg} \quad N_{max} = + 1612.5 \text{ kg}$$

Les tensions valent pour l'aluminium seul :

$$\sigma_{max} = \frac{1612.5}{19} = 85 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{et} \quad \tau_{max} = \frac{1212 \times 3}{2 \times 2 \times 0.3 \times 17.15} = 176.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{La tension principale vaut alors } \sigma_c = \sqrt{85^2 + 3 \times 176.7^2} = 317.6 \text{ kg/cm}^2$$

## ANNEXE 4

### Considérations sur le phénomène de fatigue

Nous n'avons pas jugé utile de prendre en compte le phénomène de fatigue du matériau car la norme NBN 1-50 préconise que l'alliage utilisé dans ce cas soit capable de résister à 300.000 répétitions de la surcharge maximale.

Or, cette surcharge maximum peut consister en une charge de neige d'une part, des charges de vent d'autre part.

La surcharge de neige n'entre pas en compte car il s'agit d'une mise en charge lente, sans renversement d'efforts (et, de toute façon, même avec 10 chutes de neige par an ...!)

Quant aux efforts du vent, dont la variation pourrait éventuellement nous obliger à tenir compte de la fatigue du matériau, un calcul rapide nous montre que, même en admettant 10 jours par an comportant un vent maximum en rafales de 300 coups par jour, il faudrait un siècle pour arriver aux 300.000 répétitions.

Par ailleurs, il est important de noter que les zones où ces phénomènes de fatigue seraient le plus à craindre sont en tout temps accessibles et visibles et que toute dégradation d'un élément quelconque peut aisément être constatée et traitée.

## ANNEXE 5

### Considérations sur les déformations dues au vent

Nous devons rappeler que la grandeur absolue de la déformation n'a guère d'importance, mais qu'elle doit être considérée dans un ensemble et par rapport à des éléments fixes qui risqueraient de souffrir lors de déformations trop importantes. Ce dernier point peut être oublié dans le cas présent puisque aucun élément de ce genre n'existe dans le hall ; la couverture peut subir de grandes déformations sans dommage et aucun élément raide et cassable n'est relié au portique. Il reste donc la notion de confort : cette dernière est toute subjective, car les utilisateurs ne font que voir une déformation sans la ressentir comme ce serait le cas s'ils stationnaient sur un plancher déformable, par exemple. A notre avis, il suffit d'éviter que ces déformations n'entraînent chez les spectateurs un sentiment de malaise dû à un phénomène qui peut leur sembler "hors normes" et cet objectif peut être atteint si on limite les déformations à un rapport d'environ 1/100 pour les déformations verticales ou 1/50 pour les horizontales.

Ces déformations, visibles pour le spectateur, sont surtout les déformations instantanées dues au vent ; en effet, celles dues au poids mort sont installées dès le montage (elles sont d'ailleurs très faibles) et celles dues à la neige ne sont visibles que par leur amplitude éventuelle, mais elles se produisent lentement (au rythme de la chute de neige), tandis que celles dues au vent montrent un mouvement de va-et-vient qui peut être dérangeant s'il est trop important.

Dans les différents cas de charges, nous pouvons voir que la déformation verticale la plus importante se produit au nœud 7 pour la combinaison n° 7 et vaut 7.68 cm vers le haut : cela représente une déformation relative (par rapport à la portée de 15.00 m) d'environ 1/195. Nous pensons donc cette déformation acceptable en tenant compte du fait qu'elle se produit sous le vent maximum demandé par l'utilisateur (100 km/h).

La déformation horizontale la plus importante, quant à elle, vaut 6.273 cm pour la même combinaison ce qui correspond à 1/40 de déformation relative ce qui dépasse un peu la limite fixée ci-avant.

Les déformations verticale et horizontale dues à la surcharge de neige sont, quant à elles, tout à fait compatibles avec les normes communément admises.

**PROCÈS-VERBAL DE CLASSEMENT DE REACTION AU FEU D'UN MATERIAU**

Prévu à l'article 5 de l'arrêté du 21 Novembre 2002

**N° EFR-23-001813-C**  
**Valable 5 ans à compter du 12 mai 2023**

|   |  |
|---|--|
| <b>Demandeur</b>                                      | SAINT CLAIR TEXTILES<br>415 Avenue de Savoie<br>38110 SAINT CLAIR DE LA TOUR<br>France       |
| <b>Référence commerciale</b>                          | LAC 650 SL   |
| <b>Description sommaire fournie par le demandeur</b>  | Le tissu, ignifugé dans la masse, est composé de polyester enduit de PVC sur les deux faces. |
| <b>Masse surfacique déterminée par le laboratoire</b> | 690 g/m <sup>2</sup> ± 10%   |
| <b>Épaisseur mesurée par le laboratoire</b>           | 0,53 mm ± 10%  |
| <b>Coloris</b>  | Tous coloris   |
| <b>Utilisation</b>                                    | Pergolas, Auvents, Voiles d'ombrage, Chapiteaux, etc.  |

**Nature des essais :**

- **NF P 92-507 (2004)** : Sécurité contre l'incendie - Bâtiment - Matériaux d'aménagement - Classement selon leur réaction au feu
- **NF P 92-503 (1995)** : Essais de réaction au feu des matériaux - Essai au brûleur électrique applicable aux matériaux souples

**Classement :**

**M2**

**Valable pour toute application pour laquelle le produit n'est pas soumis au marquage CE**

**Durabilité du classement (NF P 92-512 : 1986)** : Non limitée à priori

*Compte tenu des critères résultant des essais décrits dans le rapport d'essais n°EFR-23-001813-BE-C du 15 mai 2023.*

*Ce procès-verbal atteste uniquement des caractéristiques de l'échantillon soumis aux essais et ne préjuge pas des caractéristiques de produits similaires. Il ne constitue pas une certification de produits au sens de l'article L.115-27 du code de la consommation et de la loi du 3 juin 1994.*

*Efectis France est agréé pour les essais de réaction au feu selon l'arrêté du 29 décembre 2016 modifiant l'arrêté du 5 février 1959.*

Les Avenières Veyrins-Thuellin, le 15 mai 2023

X

  
Laure BARBIER

Chargé d'affaires  
Signé par : Laure BARBIER

X

  
Guillaume LE GOFF

Superviseur Essais  
Signé par : Guillaume LE GOFF